

Analyse von Langzeitregistrierungen invasiv erhobener Bioimpedanzdaten

Yao Y.¹, Zink M.², Schauerte P.², Paule S.³, Schiek M.¹

¹Forschungszentrum Jülich, Zentralinstitut für Elektronik, Jülich, Deutschland

²Universitätsklinikum der RWTH-Aachen, Medizinische Klinik I, Aachen, Deutschland

³Biotronik SE & Co. KG, Erlangen, Deutschland

y.yao@fz-juelich.de

Kurzfassung

Die Langzeit-Bioimpedanzdaten von drei Patienten, jeweils aufgezeichnet durch einen implantierten Herzschrittmacher/Defibrillator, werden mit einem PCA-basierten Ansatz analysiert. Hierbei kann der mittlere Tagesverlauf der Daten als die durch die Variation der Körperhaltung verursachte Änderung der Thoraximpedanz identifiziert werden. Zudem finden sich Hinweise, dass der Tagesverlauf der Thoraximpedanz diagnostische Informationen beinhaltet.

1 Einleitung

Durch die aktuellen Fortschritte in der Herzschrittmachertechnologie sind moderne Geräte in der Lage, eine Fülle von medizinischen und technischen Daten zu messen und zu übertragen. Diese Daten charakterisieren Patienten- und Gerätestatus und sind dem behandelnden Arzt über eine gesicherte Internet Plattform zugänglich [1]. Durch diese Langzeitregistrierungen eröffnen sich völlig neue Perspektiven für die Telemedizin.

Eine der ursprünglich zu Wartungszwecken aufgezeichneten Messgrößen ist die elektrische Impedanz des Körpers. Aktuelle Studien wecken die Hoffnung, aus der Bioimpedanz Informationen zu gewinnen, die einen Beitrag zur Verbesserung der Diagnose und Langzeitüberwachung leisten könnten [1]. Im vorliegenden Beitrag wird diese Fragestellung aus algorithmischer Sicht verfolgt.

2 Methoden

2.1 Bioimpedanz

Bei einer Messung des elektrischen Widerstandes von menschlichem Gewebe dominiert im niederfrequenten Bereich der extrazelluläre Widerstand. Mit steigender Frequenz wird durch die kapazitive Wirkung der Zellmembran der intrazelluläre Widerstand relevanter.

Die Methoden zur Impedanzmessung lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Bei der Bielelektrodenmethode wird der Widerstand zwischen mehreren Elektrodenpaaren auf der Haut des Patienten gemessen. Dabei sind zeitlich hochaufgelöste Messungen über einige Herzschlaglängen möglich, woraus sich Informationen über das Herzzeitvolumen ableiten lassen. Jedoch hängt der Messwert von äußeren Einflüssen, wie z.B. der exakten Platzierung der Elektroden ab, was die Genauigkeit dieser Methode beschränkt [2].

Im Gegensatz dazu messen implantierte Geräte die Impedanz z.B. zwischen einer Elektrode oder Schockwendel im Herzen und dem Gehäuse (üblicherweise in der rechten

oder linken Brusttasche implantiert) quasikontinuierlich über längere Zeiträume. Ursprünglich für die Prüfung der Kabelverbindung vorgesehen, belegen aktuelle Studien eine Korrelation der Impedanz mit medizinischen Markern für dekompensierte Herzinsuffizienz wie Brain Natriuretic Peptide [3]. Hierbei geht man davon aus, über diese Art der Impedanzmessung indirekt eine Änderung des thorakalen Flüssigkeitsgehalts (z.B. bei Entstehung von Lungenwasser) zu erfassen. Anwendungsszenarien, wie ein Frühwarnsystem für die Überwachung des hämodynamischen Zustandes des Patienten, sind denkbar [4]. Bei allen Methoden ist die absolute Bioimpedanz patientenspezifisch.

2.2 Versuchsdaten

Der vorgestellten Analyse liegen die Datensätze der Impedanz von insgesamt drei Patienten über Beobachtungszeiträume zwischen sieben Monaten und drei Jahren zugrunde. Die thorakale Impedanz wird jeweils 1024-mal pro Stunde vom Implantat gemessen und anschließend gemittelt, um die Abhängigkeit von Parametern wie z.B. der Atemphase zu eliminieren. Pro Tag werden so 24 Werte erfasst und zu einer festen Uhrzeit an eine Basisstation (typischerweise neben dem Bett) per Funkverbindung übermittelt. Von der Basisstation erreichen die Daten über das Mobilfunknetz ein zentrales Service Center. Der gesamte Informationsfluss ist vollständig automatisiert. Lücken im so übertragenen Trendverlauf der Impedanz entstehen in der Regel dann, wenn die Basisstation u.U. nicht verfügbar ist, z.B. während eines Krankenhausaufenthaltes. Dies betraf 23% aller Tage im Beobachtungszeitraum (Über alle Patienten).

3 PCA-Ansatz

3.1 Vorverarbeitung der Daten

Um zufällige Schwankungen abzuschwächen, wird eine Kurzzeitmittelung über drei Werte mit den Gewichten [0,25 0,5 0,25] durchgeführt. Anschließend werden, für alle Tage an denen alle Messwerte verfügbar sind, die Impedanzwerte zu Vektoren der Länge 24 zusammengefasst.

3.2 Numerische Analyse

Jeder Vektor beschreibt den Impedanzverlauf eines Tages und entspricht einem Punkt im \mathbb{R}^{24} . Das Zentrum aller Punkte lässt sich als mittlerer Tagesverlauf interpretieren. Führt man eine PCA für alle Vektoren eines Patienten durch, so entspricht jede Komponente einer Abweichung dieses mittleren Tagesverlaufes entlang des zugehörigen Eigenvektors. Der erste Eigenvektor ist nahezu konstant, d.h. die erste Hauptkomponente entspricht mit guter Näherung dem Tagesmittelwert. Der zugehörige normierte Eigenwert beträgt 0,93. Das bedeutet, dass die Abweichung von der Form des typischen Tagesverlaufes viel kleiner ist als die Variation der Tagesmittelwerte. Im Folgenden wird daher der Langzeitverlauf der Tagesmittelwerte getrennt von den Tagesverläufen betrachtet, indem von jedem Vektor dessen Mittelwert abgezogen wird. Dadurch wird eine patientenübergreifende PCA der mittelwertfreien Vektoren möglich.

In Bild 1(b) sind die ersten zwei Hauptkomponenten gegeneinander aufgetragen. Ausreißer zeigen Tage mit ungewöhnlich starker Abweichung von der Form des mittleren Tagesverlaufes an und könnten ein Indiz für eine Änderung des hämodynamischen Zustandes des Patienten sein. Die normierten Eigenvektoren ähneln stark Sinus- und Cosinusfunktionen, sodass eine Projektion der Daten auf eine Cosinusbasis ähnliche Ergebnisse wie die PCA bringt.

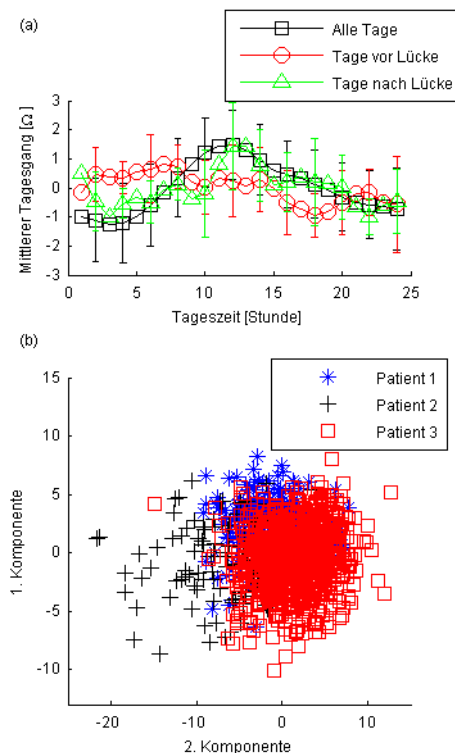


Bild 1 (a) Verlauf der Impedanz über 24 Stunden (gemittelt über verschiedene Gruppen von Tagen). Die Balken geben die Standardabweichung an. (b) Die ersten zwei Hauptkomponenten der patientenübergreifenden PCA (gesamter Beobachtungszeitraum). Eine Unterscheidung der Patienten ist möglich.

4 Medizinische Interpretation

Aus früheren Studien ist bekannt, dass die Körperhaltung Einfluss auf die Thoraximpedanz hat [5]. Daher ist aus medizinischer Sicht anzunehmen, dass der Tagesverlauf der Impedanz eine typische Kurvenform annehmen sollte. Durch die liegende Haltung steigt nachts der Wassergehalt der Lunge, wodurch die Impedanz sinkt. Tagsüber steigt die Impedanz, da im Stand das Wasser durch den hydrostatischen Druck nach unten fließt. Mit der Annahme, dass lange Lücken in den vorliegenden Daten Klinikaufenthalten entsprechen, ist folgende Interpretation möglich: Vor dem Aufenthalt ist der Zustand des Patienten schlecht, d.h. der Patient liegt z.T. auch tagsüber. Wie in Bild 1(a) zu sehen, weicht dadurch der Kurvenverlauf vom allgemeinen mittleren Tagesverlauf ab und wird flacher. Nach dem Aufenthalt normalisiert sich der Tagesablauf wieder und die Abweichung vom mittleren Tagesverlauf wird kleiner. Diese Abweichung kann gegebenenfalls durch die PCA-Hauptkomponenten detektiert werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Bisherige Studien zeigen eine Korrelation der absoluten Impedanzwerte mit Markern für die dekompensierte Herzinsuffizienz [3, 4]. Die hier vorgestellte Analyse legt nahe, dass die Abweichungen von einem mittleren Tagesverlauf zusätzliche Information enthalten, die für diagnostische Zwecke von Nutzen sein könnten. Detailliertere Untersuchungen von Daten eines größeren Patientenkollektivs sind in Arbeit, um diese These mit statistischen Testverfahren prüfen zu können. Hierfür werden auch Daten zum tatsächlichen Krankheitsverlauf der Patienten berücksichtigt.

6 Literatur

- [1] F. M. Kusumoto, and N. Goldschlager, "Remote monitoring of patients with implanted cardiac devices," *Clinical Cardiology*, vol. 33, no. 1, pp. 10-17, 2010.
- [2] W. H. W. Tang, and W. Tong, "Measuring impedance in congestive heart failure: Current options and clinical applications," *American Heart Journal*, vol. 157, no. 3, pp. 402-411, 2009.
- [3] L. Tomasi, G. Zanolto, L. Zanolto *et al.*, "Physiopathologic Correlates of Intrathoracic Impedance in Chronic Heart Failure Patients," *Pacing and Clinical Electrophysiology*, vol. 34, no. 4, pp. 407-413, 2011.
- [4] J. Becher, S. G. Kaufmann, S. Paule *et al.*, "Device-based impedance measurement is a useful and accurate tool for direct assessment of intrathoracic fluid accumulation in heart failure," *Europace*, vol. 12, no. 5, pp. 731-740, 2010.
- [5] A. Lozano-Nieto, and A. Allan Turner, "Effects of orthostatic fluid shifts on bioelectrical impedance measurements," *Biomedical Instrumentation & Technology*, vol. 35, no. 4, pp. 249-258, 2001.